



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 56 351 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 Q 3/30**

②① Aktenzeichen: 199 56 351.9  
②② Anmeldetag: 24. 11. 1999  
②③ Offenlegungstag: 31. 5. 2001

DE 199 56 351 A 1

⑦① Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Hodzic, Anes, 14059 Berlin, DE; Petermann, Klaus,  
Prof., 13503 Berlin, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	197 38 254 A1
DE	41 09 067 A1
DE	38 27 589 A1
US	59 77 911
US	53 07 073
US	47 25 844
EP	07 08 491 B1
EP	06 51 269 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Verfahren und Anordnung zur optischen Ansteuerung von phasengesteuerten Antennen

⑤⑦ Die Erfindung beinhaltet ein breitbandiges Systemkonzept, das aus optischen Komponenten und optischen Fasern aufgebaut ist und zur optischen Phasensteuerung von aktiven Antennen eingesetzt wird. Es stellt eine Realisierung einer zweidimensionalen optischen Phasensteuerung einer  $N \times M$  phasengesteuerten Antennenanordnung mit insgesamt  $N \cdot M$  Antennenelementen dar, die auf  $M$  Zeilen und  $N$  Spalten verteilt sind. Für die Steuerung der Antennenelemente werden  $N$  Lichtquellen verwendet. Für die verwendete optische Phasensteuerung werden dann statt  $N \cdot M$  Verzögerungselemente lediglich  $N + M$  Elemente benötigt.

DE 199 56 351 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie auf ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 3.

Die Erfindung betrifft eine phasengesteuerte Antenne ("phased array antenna") insbesondere für den Mikrometer- oder Millimeter-Wellenlängen-Bereich. Derartige Antennen sind aus einer Vielzahl von linien- oder matrixförmig angeordneten Send- und/oder Empfangselementen aufgebaut. Jedes der Send-/Empfangselemente ist üblicherweise über Send-/Empfangsweichen (Zirkulatoren) mit Send-/Empfangsmodulen (T/R-Module) angeschlossen. An die Weichen angeschlossen sind ein Sendepfad, der zumindest einen HF-Sendeverstärker beinhaltet und einen Empfangspfad, mit zumindest einem rauscharmen HF-Eingangsverstärker LNA. Außerdem sind in jedem T/R-Modul Send-/Empfangsumschalter sowie Amplituden- und Phasensteller vorhanden. Letztere dienen zur vorgebbaren Einstellung der Amplituden- und Phasenunterschiede für die Send- und/oder Empfangswellen bei benachbarten Strahlerelementen. Auf diese Weise ist eine elektrische Einstellung und räumliche Schwenkung des Send-/Empfangs-Richtdiagramms der Antenne möglich.

Die T/R-Module sind insbesondere über Hohlleiter oder andere Mikro- und Millimeter-Wellenleiter an eine allen T/R-Modulen gemeinsame Zentraleinheit angeschlossen. Diese enthält im wesentlichen ebenfalls einen Sendepfad mit einem Send-Oszillator und einem Empfangspfad, welcher aus einem lokalen Oszillator LO, einem Mischer sowie einem Empfänger und einem zentralen Send-/Empfangsumschalter besteht.

Aus der Schrift DE 197 38 254 bekannt ist eine Send-/Empfangsanordnung für eine phasengesteuerte Antenne mit einer vorgebbaren Anzahl von Send-/Empfangseinheiten, die über Lichtwellenleiter an eine Zentraleinheit gekoppelt sind. Diese enthält zu jedem T/R-Modul einen Amplituden- und einen Phasensteller. Alle Amplituden- und Phasensteller sind zu einer Einheit zusammengefaßt.

Aus der Schrift DE 41 09 067 ist ein Verfahren zur Ansteuerung von in Matrixform angeordneten Send-/Empfangselementen einer aktiven Antenne bekannt, bei dem ein elektrisches Signal mit definierter Amplitude und Phasenlage gebildet wird, indem durch Wandler elektrische Signale aus optischen Schwebungssignalen einer Frequenz erzeugt werden. Die optischen Schwebungssignale werden durch Überlagerung der Strahlung zweier kohärenten Lichtquellen erzeugt. Die Matrix wird durch eine Verknüpfung von  $2 \times 2$  Kopplern realisiert.

Zur zuverlässigen und reproduzierbaren Erzeugung eines genauen Send-/Empfangs-Richtdiagramms ist oft eine Einrichtungen zur Temperaturregelung der Amplituden- und Phasensteller in den T/R-Modulen erforderlich. Denn nur dann können Störungen, die auf den sogenannten Temperaturgang zurückzuführen sind, vermieden werden. Eine derartige Einrichtung zur Regelung des Temperaturgangs in den T/R-Modulen ist in nachteiliger Weise technisch aufwendig, da diese Module im allgemeinen in einem sog. Frontend mechanisch drehbar angeordnet sind.

Die aus dem Stand der Technik bekannten Konzepte bieten keine zweidimensionale rein optische Phasensteuerung, die eine gezielte Ansteuerung der einzelnen Strahlerelemente einer aktiven Antenne ermöglicht. Zudem sind die Bandbreiten infolge der opto-elektronischen Umwandlung der Signale begrenzt. Für die Realisierung von unterschiedlichen Phasen- und Laufzeitverzögerungen ist für jedes einzelne Antennenelement eine Verzögerungsleitung notwendig, was die Kosten und den Aufwand des Gesamtsystems

in die Höhe treibt.

Ein weiterer Nachteil bekannter Konzepte ist die Tatsache, daß sie oft nur unidirektional eingesetzt werden können. Das heißt, sie können entweder nur im Send- oder im Empfangsmodus betrieben werden, wodurch die Komplexität des ganzen Systems steigt und seine Eigenschaften, wie beispielsweise der Signal-Rausch-Abstand, der Dynamikbereich und die Verluste sich verschlechtern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung für eine zweidimensionale optische Phasensteuerung eines aktiven Antennensystems anzugeben, bei der die Phase bzw. die Laufzeitverzögerung jeder Antenne einzeln angesteuert werden kann.

Die Erfindung wird in Bezug auf die Anordnung durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und in Bezug auf das Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruchs 3 wiedergegeben. Die weiteren Ansprüche enthalten vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

Die Erfindung beinhaltet eine Vorrichtung zur Ansteuerung eines aktiven Antennensystems, das aus optischen Bauelementen wie Laserquellen, Modulatoren, Kopplern, Multiplexer, Demultiplexer, Photodioden und Zirkulatoren aufgebaut ist. Die gesamte Steuerung findet im optischen Bereich statt, wobei die opto-elektronische Umwandlung der Signale erst an jeder einzelnen Antenne erfolgt.

Die Erfindung umfaßt eine Vorrichtung zur Ansteuerung einer in M Zeilen und N Spalten angeordneten aktiven Antenne, bestehend aus Send-/Empfangselementen, Verzögerungselementen, einem  $N \times M$  Koppler, Demultiplexer.

Als Sendeelemente sind N Laser unterschiedlicher Frequenz und als Empfangselemente N Photodioden als Empfangselemente angeordnet. Die Send-/Empfangselemente sind zur Phaseneinstellung optisch mit N Verzögerungselementen zur Erzeugung der Spaltenlaufzeitverzögerung gekoppelt und mit N Eingängen eines  $N \times M$  Kopplers verbunden. Dadurch findet ein Multiplex der N Wellenlängen zeilenweise zu einem Lichtweg in M Zeilen statt. Die M Ausgänge des  $N \times M$  Kopplers sind optisch mit M Verzögerungselementen zur Erzeugung der Zeilenlaufzeitverzögerung gekoppelt. Im weiteren Verlauf führen die M Zeilen zu M Demultiplexern, wodurch am Ausgang der Demultiplexer jeweils ein Lichtweg zu jedem Strahlerelement der  $N \times M$  Antennenanordnung führt und die zeitliche Verzögerung des Signals aus einer Summe von N Spaltenlaufzeitverzögerungen und M Zeilenlaufzeitverzögerungen besteht.

Für einen bidirektionalen Send- und Empfangsbetrieb sind Photodioden als Empfangselemente optisch über Zirkulatoren zwischen den Sendeelementen und der Spaltenlaufzeitverzögerung eingebunden.

Durch die Erfindung entsteht ein breitbandiges Systemkonzept, das aus optischen Komponenten und optischen Fasern aufgebaut ist und zur optischen Phasensteuerung von aktiven Antennen eingesetzt wird. Es stellt eine Realisierung einer zweidimensionalen optischen Phasensteuerung einer  $N \times M$  phasengesteuerten Antennenanordnung mit insgesamt  $N \times M$  Antennenelementen dar, die auf M Zeilen und N Spalten verteilt sind. Für die Steuerung der Antennenelemente werden N Lichtquellen verwendet. Für die verwendete sog. "time-delay" optische Phasensteuerung werden dann statt  $N \times M$  Verzögerungselemente lediglich  $N+M$  Elemente benötigt.

Die Phasensteuerung der  $N \times M$  Antennenanordnung wird zeilen- und spaltenweise durchgeführt, wobei N Spalten optisch phasengesteuert werden. Der Grundgedanke besteht darin, daß die Laufzeitsteuerung für das Antennenelement  $(n,m)$  in der Form  $\tau(n,m) = \tau_1(n) + \tau_2(m)$ , mit  $1 \leq n \leq N$ ,  $1 \leq m \leq M$  realisiert wird. Die Laufzeit  $\tau$  setzt sich damit aus einem Laufzeitanteil für die unterschiedlichen Zei-

len  $m$  und die unterschiedlichen Spalten  $n$  zusammen, womit die Ausrichtung der Antennenkeule im Raum erreicht wird. Für die  $N$  Spalten werden dann  $N$  Verzögerungselemente und für die  $M$  Spalten  $M$  Verzögerungselemente benötigt. Bei einer  $16 \times 16$  Antennenmatrix bedeutet dies beispielsweise, daß nur 32 statt 256 Verzögerungselemente eingesetzt werden müssen.

Die unterschiedliche Laufzeitsteuerung für die Zeilen und Spalten wird beispielsweise dadurch realisiert, daß jeder einzelnen Spalte jeweils eine Wellenlänge zugeordnet wird. Das Licht wird beispielsweise durch  $N$  sich in der Wellenlänge unterscheidenden monochromatischen Lichtquellen mit einer nachgeschalteten Laufzeitsteuerung für jede Spalte erzeugt. Die  $M$  Zeilen einer Spalte  $n$  werden so einer gemeinsamen Laufzeitsteuerung  $\tau_1(n)$  bei der Wellenlänge  $\lambda_n$  unterworfen. Die  $N$  Wellenlängen werden zeilenweise zu einem Lichtweg gemultiplext und gemeinsam wieder auf  $M$  Wege für die  $M$  Zeilen aufgeteilt. Für  $M$  Zeilen entstehen  $M$  Lichtwege, deren Laufzeitverzögerung entsprechend  $\tau_2(m)$  einzeln gesteuert werden. Die gesamte zeitliche Verzögerung einer  $N \times M$  Antennenanordnung wird so als die Summe von  $N$  Spaltenlaufzeitverzögerungen und  $M$  Zeilenlaufzeitverzögerungen realisiert. Dieses Konzept ist bidirektional d. h. es kann im Sende- sowie im Empfangsmodus für die Laufzeitsteuerung verwendet werden.

Das Verfahren zur Ansteuerung einer in  $M$  Zeilen und  $N$  Spalten angeordneten aktiven Antenne besteht daraus:

- daß mit  $N$  Lasern unterschiedlicher Frequenz als Sendeelemente ein Sendesignal erzeugt wird,
- daß jedes Sendesignal zur Phaseneinstellung mit  $N$  optischen Verzögerungselementen eine Spaltenlaufzeitverzögerung erfährt,

daß jedes Sendesignal in einen der  $N$  Eingänge eines  $N \times M$  Kopplers geführt wird, wodurch ein Multiplex der  $N$  Wellenlängen zeilenweise zu einem Lichtweg in  $M$  Ausgänge durchgeführt wird,

- daß die gemultiplexten Signale der  $M$  Ausgänge des  $N \times M$  Kopplers in ihrer Phasenlage durch  $M$  Verzögerungselemente zur Erzeugung der Zeilenlaufzeitverzögerung verändert werden,

daß im weiteren Verlauf die Signale demultiplext werden, wodurch am Ausgang der Demultiplexer der  $N \times M$  Antennenanordnung die zeitliche Verzögerung des Signals aus einer Summe von  $N$  Spaltenlaufzeitverzögerungen und  $M$  Zeilenlaufzeitverzögerungen besteht.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht in der zweidimensionalen rein optischen Phasensteuerung, die eine gezielte Ansteuerung der einzelnen Antennenelemente einer aktiven Antenne ermöglicht.

Für eine Realisierung von unterschiedlichen Phasen- und Laufzeitverzögerungen sind für die Antennenelemente nicht mehr  $N \times M$  Verzögerungsleitungen notwendig, sondern lediglich  $N+M$ , was die Kosten und den Aufwand des Gesamtsystems enorm senkt.

Ein weiterer Vorteil gegenüber bekannten Konzepten ist der bidirektionale Einsatz als Sende/Empfangsteil. Das heißt, die Systeme können sowohl im Sende- oder im Empfangsmodus betrieben werden, wodurch die Komplexität des ganzen Systems steigt und seine Eigenschaften, wie beispielsweise der Signal-Rausch-Abstand oder der Dynamikbereich, verbessert und Verluste minimiert werden.

Nicht zuletzt zeichnet sich das System durch eine hohe Bandbreite aus, da die Steuerung der einzelnen Antennenelemente durch einen sog. "true-time-delay" erfolgt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von vorteilhaft-

ten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf schematische Zeichnungen in den Figuren näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** Schematische Darstellung einer Vorrichtung als Sendemodul.

**Fig. 2** Schematische Darstellung einer Vorrichtung als Sende/Empfangsmodul.

In einem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** ist in der schematischen Darstellung die optische Phasensteuerung in zwei Stufen aufgeteilt. In der ersten Stufe wird die optische Spaltensteuerung durch die Verwendung von Verzögerungselementen **13** Signale realisiert, die von Lasern **11** als Lichtquellen mit verschiedenen Wellenlängen erzeugt und mit Mikrowellensignalen in einem MW-Modulator **12** moduliert werden. Die verwendeten Verzögerungsleitungen **13** können auf unterschiedliche Weise eingebunden werden. Bevorzugt bieten sich jedoch geschaltete Verzögerungsleitungen, dispersive Verzögerungsleitungen und geschaltete Dispersionsmatrizen an. Die Ausgangssignale der ersten Stufe werden mit einem passiven  $N \times M$  Koppler bezüglich aller  $N$  Wellenlängen zusammengefaßt und dann auf  $M$  gleiche Ausgangskanäle verteilt. In der darauffolgenden zweiten Stufe werden die Zeilen des Antennensystems und jeder der  $M$  Kanäle mit denselben Methoden über Verzögerungselemente **14**, wie bereits in der ersten Stufe angewandt, optisch gesteuert. Am Ende jedes Kanals befinden sich  $1 \times N$  Wellenlängen Demultiplexer **15**, die jedem Antennenelement über Lichtwellenleiter **16** eine bestimmte Wellenlänge zuweisen. Das Signal wird über optoelektronische Wandler vor den Antennenelementen in elektrische Signale transformiert.

Dieses Konzept führt zu Ersparnissen an dispersiven Elementen, Verzögerungsleitungen, Verstärkern und Photodioden, die durch den Einsatz von Multiplexern und Demultiplexern sowie durch die entsprechend gewählte optische Phasensteuerung erreicht werden.

Das Konzept einer bidirektionalen Übertragung ist in **Fig. 2** dargestellt. Durch Einbinden von Photodioden **17**, über entsprechende Zirkulatoren **18** wird sowohl ein Senden wie auch ein Empfangen realisiert.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Ansteuerung einer in  $M$  Zeilen und  $N$  Spalten angeordneten aktiven Antenne, zumindest bestehend aus

- Sende/Empfangs-Elementen,
- Verzögerungselemente,
- einem  $N \times M$  Koppler,
- Demultiplexer,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß  $N$  Laser unterschiedlicher Frequenz als Sendeelemente und/oder  $N$  Photodioden als Empfangselemente angeordnet sind,
- daß die Sende/Empfangselemente zur Phaseneinstellung optisch mit  $N$  Verzögerungselementen zur Erzeugung der Spaltenlaufzeitverzögerung gekoppelt sind,
- daß diese mit den  $N$  Eingängen eines  $N \times M$  Kopplers verbunden sind, wodurch ein Multiplex der  $N$  Wellenlängen zeilenweise zu einem Lichtweg in  $M$  Zeilen stattfindet,
- daß die  $M$  Ausgänge des  $N \times M$  Kopplers optisch mit  $M$  Verzögerungselementen zur Erzeugung der Zeilenlaufzeitverzögerung gekoppelt sind,
- daß im weiteren Verlauf die  $M$  Zeilen zu  $M$  Demultiplexern führen, wodurch am Ausgang der Demultiplexer jeweils ein Lichtweg zu jedem

Strahlerelement der  $N \times M$  Antennenanordnung führt, wobei sich die zeitliche Verzögerung des Signals aus der Summe von  $N$  Spaltenlaufzeitverzögerungen und  $M$  Zeilenlaufzeitverzögerungen addiert.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Photodioden als Empfangselemente optisch über Zirkulatoren zwischen den Sendeelementen und der Spaltenlaufzeitverzögerung eingebunden sind.
3. Verfahren zur Ansteuerung einer in  $M$  Zeilen und  $N$  Spalten angeordneten aktiven Antenne, dadurch gekennzeichnet,
- daß mit  $N$  Lasern unterschiedlicher Frequenz als Sendeelemente ein Sendesignal erzeugt wird,
  - daß jedes Sendesignal zur Phaseneinstellung mit  $N$  optischen Verzögerungselementen eine Spaltenlaufzeitverzögerung erfährt,
  - daß jedes Sendesignal in einen der  $N$  Eingänge eines  $N \times M$  Kopplers geführt wird, wodurch ein Multiplex der  $N$  Wellenlängen zeilenweise zu einem Lichtweg in  $M$  Ausgänge durchgeführt wird,
  - daß die gemultiplexten Signale der  $M$  Ausgänge des  $N \times M$  Kopplers in ihrer Phasenlage durch  $M$  Verzögerungselemente zur Erzeugung der Zeilenlaufzeitverzögerung moduliert werden,
  - daß im weiteren Verlauf die Signale demultiplext werden, wodurch am Ausgang der Demultiplexer der  $N \times M$  Antennenanordnung die zeitliche Verzögerung des Signals aus einer Summe von  $N$  Spaltenlaufzeitverzögerungen und  $M$  Zeilenlaufzeitverzögerungen besteht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß mit Sendeelementen und Empfangselementen ein bidirektionaler Betrieb durchgeführt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG.1

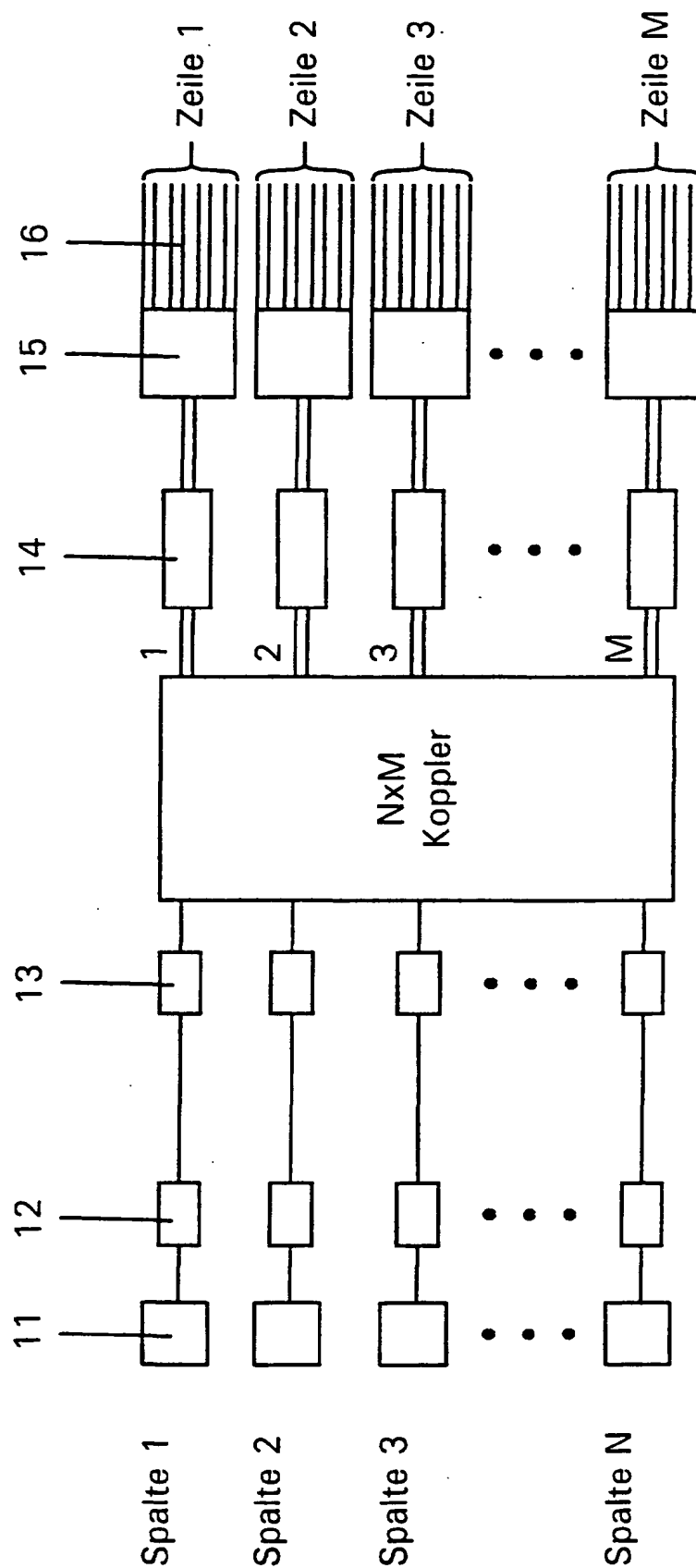


FIG.2

